

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 1 月 2 1 日
Date of Application:

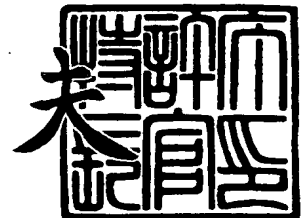
出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 0 1 2 6 6 4
Application Number:
[ST. 10/C] : [J P 2 0 0 3 - 0 1 2 6 6 4]

出 願 人 株式会社フジクラ
Applicant(s):

2 0 0 3 年 9 月 1 1 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号 出証特 2 0 0 3 - 3 0 7 4 9 5 5



【書類名】 特許願

【整理番号】 20020931

【提出日】 平成15年 1月21日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02B 6/28

【発明の名称】 光ファイバカプラ及び光ファイバカプラ用光ファイバ

【請求項の数】 8

【発明者】

 【住所又は居所】 千葉県佐倉市六崎 1 4 4 0 株式会社フジクラ 佐倉事業所内

 【氏名】 石井 裕

【発明者】

 【住所又は居所】 千葉県佐倉市六崎 1 4 4 0 株式会社フジクラ 佐倉事業所内

 【氏名】 松本 亮吉

【発明者】

 【住所又は居所】 千葉県佐倉市六崎 1 4 4 0 株式会社フジクラ 佐倉事業所内

 【氏名】 田中 大一郎

【特許出願人】

 【識別番号】 000005186

 【氏名又は名称】 株式会社 フジクラ

 【代表者】 辻川 昭

【代理人】

 【識別番号】 100083806

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 三好 秀和

 【電話番号】 03-3504-3075

【選任した代理人】

【識別番号】 100068342

【弁理士】

【氏名又は名称】 三好 保男

【選任した代理人】

【識別番号】 100100712

【弁理士】

【氏名又は名称】 岩▲崎▼ 幸邦

【選任した代理人】

【識別番号】 100100929

【弁理士】

【氏名又は名称】 川又 澄雄

【選任した代理人】

【識別番号】 100101247

【弁理士】

【氏名又は名称】 高橋 俊一

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 001982

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9703890

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光ファイバカプラ及び光ファイバカプラ用光ファイバ

【特許請求の範囲】

【請求項1】 互いに波長帯が異なる複数本の光ファイバを融着延伸してなる融着延伸部を有する光ファイバカプラであって、前記融着延伸部により融着延伸された後のそれぞれの光ファイバの伝搬定数の差は、 10^{-4} [rad/ μ m]以下であることを特徴とする光ファイバカプラ。

【請求項2】 互いに波長帯が異なる複数本の光ファイバを融着延伸してなる融着延伸部を有する光ファイバカプラであって、前記複数本の光ファイバの内の少なくとも1つの光ファイバは、 0.98μ m付近の波長を持つ光を単一モードで伝搬する光ファイバカプラ用光ファイバであり、第1コアと、この第1コアの周囲に配置された第2コアと、この第2コアの周囲に配置されたクラッドとを有し、前記第2コア半径は 10μ m以上であり、前記第2コアと前記クラッドとの比屈折率差は0.1%以下であることを特徴とする光ファイバカプラ。

【請求項3】 前記第1コアの比屈折率差は、0.70%~0.90%の範囲内であることを特徴とする請求項2記載の光ファイバカプラ。

【請求項4】 前記第1コアの比屈折率差は、0.60%~0.80%の範囲内であることを特徴とする請求項2記載の光ファイバカプラ。

【請求項5】 前記複数本の光ファイバの内の他の1つの光ファイバは、 1.55μ m付近の波長を持つ光を単一モードで伝搬する光ファイバカプラ用光ファイバであることを特徴とする請求項3又は請求項4記載の光ファイバカプラ。

【請求項6】 0.98μ m付近の波長を持つ光を単一モードで伝搬する光ファイバカプラ用光ファイバであって、第1コアと、この第1コア上に配置された第2コアと、この第2コア上に配置されたクラッドとを有し、前記第2コア半径は 10μ m以上であり、前記第2コアの比屈折率差は0.1%以下であることを特徴とする光ファイバカプラ用光ファイバ。

【請求項7】 前記第1コアの比屈折率差は、0.70%~0.90%の範囲内であることを特徴とする請求項6記載の光ファイバカプラ用光ファイバ。

【請求項8】 前記第1コアの比屈折率差は、0.60%~0.80%の範

囲内であることを特徴とする請求項6記載の光ファイバカプラ用光ファイバ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光情報通信分野、光計測分野等に用いられる光ファイバカプラに関し、特に波長域の離れた波長を合波・分波（以下、これらを合わせて合分波と称する。）するWDM（Wavelength-Division Multi-plexer/Demultiplexer,またはMultiplexing/Demultiplexing）カプラに関し、優れた光学特性（合分波特性）を実現しつつ、入出力ファイバとの接続性に優れた（結合損失の小さな）光ファイバカプラ及び光ファイバカプラ用光ファイバに関する。

【0002】

【従来の技術】

光情報通信分野において多く用いられているEDFA（エルビウム添加光ファイバ増幅器）の中で、増幅媒体（EDF；エルビウム添加光ファイバ、もしくはこの中に含まれるEr（エルビウム）とも言う。）を励起するために、 $1.48\mu\text{m}$ 付近及び／又は $0.98\mu\text{m}$ 付近の波長を持つ光（励起光、ポンプ光（Pumping Light）とも呼ぶ。）を入射する。この場合、増幅媒体（EDF）中には、WDMカプラ（以下、光ファイバカプラと称する。）により、信号光（ $1.55\mu\text{m}$ 帯）を損なわずに $0.98\mu\text{m}$ 付近の光を加える。

【0003】

この光ファイバカプラには、融着延伸型ファイバカプラ、多層膜フィルタを用いたものなどがあるが、ここでは、融着延伸型の光ファイバカプラについて説明する。従来より用いられてきた $0.98\mu\text{m}$ 帯－ $1.55\mu\text{m}$ 帯用光ファイバカプラには、 $0.98\mu\text{m}$ 用光ファイバ2本によって構成されたもの、 $0.98\mu\text{m}$ 用光ファイバと $1.55\mu\text{m}$ 用光ファイバを組み合わせて構成されたものが挙げられる。

【0004】

なお、 $1.55\mu\text{m}$ 用光ファイバ中では、 $0.98\mu\text{m}$ の光（＝励起光）が単一モードで伝搬しないため、安定した特性を実現できない。このため、 1.55

μm 帯用光ファイバ2本による構成は用いられていない。

【0005】

なお、光ファイバカプラの従来の技術として、例えば特許文献1、特許文献2、特許文献3などがある。

【0006】

【特許文献1】

USP 4, 834, 481

【0007】

【特許文献2】

USP 4, 556, 279

【0008】

【特許文献3】

USP 4, 869, 570

【0009】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、 $0.98\mu\text{m}$ 用光ファイバと $1.55\mu\text{m}$ 用光ファイバの組み合わせによって構成された光ファイバカプラにあつては、融着延伸部における $1.55\mu\text{m}$ 帯の光の伝搬定数が、それぞれの光ファイバにおいて異なる、いわゆる非対称カプラとなり、 $1.55\mu\text{m}$ 帯の光のパワーが $1.55\mu\text{m}$ 帯用光ファイバから $0.98\mu\text{m}$ 帯用光ファイバに100%移行すること、すなわち、完全結合することができなくなる。すなわち、 $1.55\mu\text{m}$ 帯の挿入損失が大きくなる。

【0010】

また、 $0.98\mu\text{m}$ 用光ファイバ2本によって構成された光ファイバカプラにあつては、 $0.98\mu\text{m}$ 用光ファイバと $1.55\mu\text{m}$ 帯（信号光）ポートとの接続性が悪くなる。 $1.55\mu\text{m}$ 用光ファイバと $0.98\mu\text{m}$ 用光ファイバとの接続性について以下に詳細に説明する。

【0011】

図20は従来の光ファイバカプラの第1構成例を示す図である。図21は従来

の光ファイバカプラの第2構成例を示す図である。図20に示す第1構成例は、励起光をEDF等の増幅媒体に対して、信号上流側から信号光と同じ方向に入射する方法、すなわち前方励起方式で用いられる接続方法である。

【0012】

図20に示す光ファイバカプラは、 $1.55\mu\text{m}$ 帯用光ファイバ11と $0.98\mu\text{m}$ 帯用光ファイバ13とを融着延伸してなる融着延伸部15を有する。 $1.55\mu\text{m}$ 帯用光ファイバ11の一方のポートには上流側の信号線路である $1.55\mu\text{m}$ 帯用光ファイバ21から接続部Aを介して信号光が入射され、 $0.98\mu\text{m}$ 帯用光ファイバ13の一方のポートにはポンプ光光源である $0.98\mu\text{m}$ 帯用光ファイバ23から接続部Bを介してポンプ光が入射される。 $0.98\mu\text{m}$ 帯用光ファイバ13の他方のポートからは、合波された $0.98\mu\text{m}$ 帯のポンプ光と $1.55\mu\text{m}$ 帯の信号光とが接続部Cを介してEDFに入射される。即ち、この前方励起方式は、図20中の矢印(→)で示すように、信号光とポンプ光が同じ向きで、同じ信号線路上流側からEDFに入射される。なお、 $1.55\mu\text{m}$ 帯用光ファイバ11の他方のポート11pは使用されていない。

【0013】

図21に示す第2構成例は、後方励起方式で用いられる接続方法である。この後方励起方式は、図21中の矢印(→)で示すように、ポンプ光が信号光と逆向きに、信号線路の下流側からEDFに入射される。この2種類の励起方式以外に、EDFの信号上流・下流両側から励起光を入射する双方向励起方式もあるが、この方式では、EDFの信号上流側と信号下流側の両方に光ファイバカプラを配置するが、前者は前方励起方式と同様の使い方、後者は後方励起方式と同様の使い方をする。

【0014】

ここで、光ファイバカプラ用の光ファイバを $0.98\mu\text{m}$ 帯用に統一した場合には、図20及び図21中の接続部Aでは、 $1.55\mu\text{m}$ 帯用光ファイバ21と光ファイバカプラ用の $0.98\mu\text{m}$ 帯用光ファイバが接続される。ここで、接続点においてMFD(モードフィールド径)のミスマッチにより、比較的大きな接続損失が生じる。

【0015】

なお、光ファイバ中を伝搬する光の電磁界の強度分布は、多くの光ファイバにおいてガウス分布で良く近似できる強度分布を有しており、MFDは、光ファイバ中を伝搬する光の電磁界の強度分布の最大値の $1/e^2$ ($e=2.71\dots$ 、自然対数の底)となる部分の直径をいう。このMFDは接続損失を決定する重要なファクタである。MFDが等しい光ファイバ同士を接続する場合は、接続損失は非常に小さくすることが可能であるが(理想的な状況では損失=0、すなわち無損失)、MFDの異なる光ファイバ同士を接続する場合は、MFDの差が大きいほど接続損失は大きくなる。前記接続損失は、約0.2dB~0.3dBと大きく、光部品の用いられる通信システムにおける伝送品質の観点から好ましくない。

【0016】

このような観点から、光ファイバカプラにおいて、接続性(接続損失の低減)を考慮すると、 $1.55\mu\text{m}$ 帯の光を入射するポート(後方励起方式の場合は $1.55\mu\text{m}$ 帯が出射されるポート)に用いる光ファイバカプラ用の光ファイバは、図21及び図22に示すように、 $1.55\mu\text{m}$ 帯用光ファイバ11とすることが望ましい。

【0017】

本発明は、優れた光学特性($1.55\mu\text{m}$ 帯の結合特性)を実現しつつ、入出力光ファイバとの接続性に優れた(結合損失の小さい)、挿入損失が小さな融着延伸型の光ファイバカプラ及び光ファイバカプラ用光ファイバを提供することにある。

【0018】**【課題を解決するための手段】**

上記課題を達成するために、請求項1の発明は、互いに波長帯が異なる複数本の光ファイバを融着延伸してなる融着延伸部を有する光ファイバカプラであって、前記融着延伸部により融着延伸された後のそれぞれの光ファイバの伝搬定数の差は、 $10^{-4}[\text{rad}/\mu\text{m}]$ 以下であることを特徴とする。

【0019】

請求項1の発明によれば、それぞれの光ファイバの伝搬定数の差を、 $10^{-4}[\text{rad}/\mu\text{m}]$ 以下とすることにより、複数本の光ファイバのモードが相互に結合する最大結合度が極力1となるので、優れた光学特性（結合特性）を実現でき、挿入損失が小さくなる。

【0020】

請求項2の発明は、互いに波長帯が異なる複数本の光ファイバを融着延伸してなる融着延伸部を有する光ファイバカップラであって、前記複数本の光ファイバの内の1つの光ファイバは、 $0.98\mu\text{m}$ 付近の波長を持つ光を単一モードで伝搬する光ファイバカップラ用光ファイバであり、第1コアと、この第1コアの周囲に配置された第2コアと、この第2コアの周囲に配置されたクラッドとを有し、前記第2コア半径は $10\mu\text{m}$ 以上であり、前記第2コアと前記クラッドとの比屈折率差は 0.1% 以下であることを特徴とする。

【0021】

請求項2の発明によれば、 $0.98\mu\text{m}$ 帯用光ファイバカップラ用光ファイバに第2コアを設け、第2コア半径を $10\mu\text{m}$ 以上とし、第2コアとクラッドとの比屈折率差を 0.1% 以下としたので、伝搬定数の差が 10^{-4} 以下となり、優れた光学特性（結合特性）を実現でき、挿入損失が小さくなる。

【0022】

請求項3の発明に係る光ファイバカップラでは、前記第1コアの比屈折率差は、 $0.70\% \sim 0.90\%$ の範囲内であることを特徴とする。

【0023】

請求項3の発明によれば、 $1.55\mu\text{m}$ 帯用光ファイバカップラ用光ファイバのコアの比屈折率差を 0.35% 付近である場合、 $0.98\mu\text{m}$ 帯用光ファイバカップラ用光ファイバの第1コアの比屈折率差を $0.70\% \sim 0.90\%$ の範囲内とすることにより、伝搬定数の差が $10^{-4}[\text{rad}/\mu\text{m}]$ 以下となり、優れた光学特性（結合特性）を実現でき、挿入損失が小さくなる。

【0024】

請求項4の発明に係る光ファイバカップラでは、前記第1コアの比屈折率差は、 $0.60\% \sim 0.80\%$ の範囲内であることを特徴とする。

【 0 0 2 5 】

請求項 4 の発明によれば、 $1.55\ \mu\text{m}$ 帯用光ファイバカプラ用光ファイバのコアの比屈折率差を 0.30% 付近である場合、 $0.98\ \mu\text{m}$ 帯用光ファイバカプラ用光ファイバの第 1 コアの比屈折率差を $0.60\% \sim 0.80\%$ の範囲内とすることにより、伝搬定数の差が $10^{-4}[\text{rad}/\mu\text{m}]$ 以下となり、優れた光学特性（結合特性）を実現でき、挿入損失が小さくなる。

【 0 0 2 6 】

請求項 5 の発明に係る光ファイバカプラでは、前記複数本の光ファイバの内の他の 1 つの光ファイバは、 $1.55\ \mu\text{m}$ 付近の波長を持つ光を単一モードで伝搬する光ファイバカプラ用光ファイバであることを特徴とする。

【 0 0 2 7 】

請求項 6 の発明は、 $0.98\ \mu\text{m}$ 付近の波長を持つ光を単一モードで伝搬する光ファイバカプラ用光ファイバであって、第 1 コアと、この第 1 コア上に配置された第 2 コアと、この第 2 コア上に配置されたクラッドとを有し、前記第 2 コア半径は $10\ \mu\text{m}$ 以上であり、前記第 2 コアの比屈折率差は 0.1% 以下であることを特徴とする。

【 0 0 2 8 】

請求項 7 の発明に係る光ファイバカプラ用光ファイバでは、前記第 1 コアの比屈折率差は、 $0.70\% \sim 0.90\%$ の範囲内であることを特徴とする。

【 0 0 2 9 】

請求項 8 の発明に係る光ファイバカプラ用光ファイバでは、前記第 1 コアの比屈折率差は、 $0.60\% \sim 0.80\%$ の範囲内であることを特徴とする。

【 0 0 3 0 】**【発明の実施の形態】**

以下、本発明に係る光ファイバカプラ及び光ファイバカプラ用光ファイバの実施の形態を図面を参照しながら詳細に説明する。

【 0 0 3 1 】

まず、本出願人の発明者等は、光ファイバの屈折率プロファイルを改良することにより、 $0.98\ \mu\text{m}$ 帯用光ファイバとしての特性（ $0.98\ \mu\text{m}$ 帯で単一モ

ードであり、かつ0.98 μ m帯用光ファイバとの接続性に優れる)を維持しつつ、融着延伸することにより1.55 μ m帯用光ファイバとの結合度が十分大きな光ファイバを発明するに至った。

【0032】

以下、このような光ファイバに関して理論を述べた上で、計算による検討結果について説明する。

【0033】

(a) 対称カプラ・非対称カプラそれぞれの結合度について

まず、対称カプラ・非対称カプラそれぞれの結合度について説明する。ここでは、同方向方向性結合器の理論の要点のみを説明する。

【0034】

2つの導波路I, IIを互いに近づけた場合、各々の導波路のモードは、相互に結合する。この結合の最大値を決めるパラメータFは、式(1)で表される。

【0035】

【数1】

$$F = \frac{1}{1 + (\delta/\kappa)} \quad (1)$$

ここで、 δ は導波路I, IIそれぞれの固有モードの伝搬定数 β の差であり、式(2)で表される。 β_1 は導波路Iにおける伝搬定数であり、 β_2 は導波路IIにおける伝搬定数である。

【0036】

【数2】

$$\delta = \frac{\beta_2 - \beta_1}{2} \quad (2)$$

また、 κ は導波路I, IIの結合定数であり、式(3)で表される。

【0037】

【数 3】

$$\kappa_{I, II} = \frac{\omega \varepsilon_0 \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (N^2 - N_{II}^2) E_1^* \cdot E_{II} dx dy}{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \mathbf{u}_z \cdot (E_1^* \times H_{II} + E_{II} \times H_1^*) dx dy} \quad (3)$$

ここで、 ω は各周波数を表し、 ε_0 は真空中の誘電率を表す。 \mathbf{u}_z はz方向の単位ベクトルを表し、 E_1^* 及び H_1^* は E_1 及び H_1 の共役複素数を表す。 N^2 及び N_{II}^2 は各々の導波路の屈折率分布を表す。 $E_1^* \cdot E_{II}$ は、 E_1^* と E_{II} との内積を表し、スカラー量である。 $E_1^* \times H_{II}$ は、 E_1^* と H_{II} との外積であり、ベクトル量である。

本発明の目的が、0.98 μ m帯を結合させないような状況で、1.55 μ m帯の信号波を低損失で結合させる（即ち、挿入損失を小さくする。）ことにあるので、1.55 μ m帯での最大結合度は、極力1とする必要がある。即ち、式（1）に示すパラメータFを極力1とする必要がある。パラメータFを1とするためには、それぞれの導波路I, IIを延伸後の状態で、式（1）からわかるように、それぞれの導波路I, IIの伝搬定数差を結合定数 κ に比べて十分に小さくする必要がある。

【0038】

融着延伸型の光ファイバカップラの場合、結合定数 κ は、強融着であれば、 $10^{-4} \sim 10^{-2}$ [rad/ μ m]程度であり、弱融着であれば、 $10^{-7} \sim 10^{-5}$ [rad/ μ m]程度となることが簡単な計算から求められる。このため、強融着を前提とした場合（融着条件にもよるが）、1.55 μ m帯の信号波を低損失で結合させるためには、光ファイバカップラの0.98 μ m用光ファイバと1.55 μ m用光ファイバとの δ を、 $10^{-5} \sim 10^{-3}$ [rad/ μ m]程度とすれば良い。

【0039】

(b) 0.98 μ m用光ファイバと1.55 μ m用光ファイバを融着延伸した場合の伝搬定数とその差について

図5は1.55 μ m帯用光ファイバ（Corning Inc. SMF28相当）と0.98 μ m帯用光ファイバ（Corning Inc. CS980相当）を融着無しで1本の光ファイバのまま延伸した場合（即ち、加熱して引っ張り細くした場合）における1.55 μ mの導波モードの伝搬定数 β の変遷の計算結果を示す図である。横軸は、延伸に

より光ファイバが元の状態からどれだけ細くなったかを示す延伸率を表す。延伸率 100%とは延伸していない光ファイバを表わし、延伸率 50%とは、延伸した結果、光ファイバの外径が元の半分 ($62.5 \mu\text{m}$) になったものを表わす。

【0040】

図5ではそれぞれのファイバの伝搬定数 β を表し、図6では2つの導波路の伝搬定数 β の差(上記 δ の2倍の値)を表わす。図6からわかるように、延伸率75%付近で δ は一旦零となるが、この前後では δ は非零の値を持つ。このことから、 $0.98 \mu\text{m}$ 帯用光ファイバ(CS980相当)と $1.55 \mu\text{m}$ 帯用光ファイバ(SMF28相当)は、延伸率75%付近でのみ $\delta=0$ 、すなわち完全結合する条件を有することがわかる。

【0041】

しかし、 $\delta=0$ なる点はこの1点のみであることから、製造トレランスが小さいことが予想される。また、このグラフは、長波→延伸率小(光ファイバが細い)、短波→延伸率大(光ファイバが太い)と読み換えられるため(2本の導波路間でのモード結合は長波側の方が強いため、定性的にはこのような読み替えは有効である。)、挿入損失が大きな波長依存性を持つこともわかる。これはWDMカプラの特性として好ましくない。これは、 $1.55 \mu\text{m}$ 帯(信号帯域)全体で波長特性が平坦で且つ結合度が可能な限り1に近いものでないと、 $1.55 \mu\text{m}$ 帯の挿入損失およびその波長依存性は、十分に小さく且つ平坦なものにならないからである。即ち、製造時の融着延伸の条件内で、2種の光ファイバの伝搬定数 β の延伸率依存性(もしくは波長依存性)が、同じ絶対値を持ち、且つ等しい傾きを持つこと、すなわち接することが理想的な状況であると言える。

【0042】

(A) 実施の形態に係る光ファイバカプラの実施例

(a) (b)に説明した内容を踏まえた上で、 $0.98 \mu\text{m}$ 帯用光ファイバの屈折率プロファイルを改良することにより、 $1.55 \mu\text{m}$ 帯用光ファイバとの結合度を向上させた光ファイバカプラの実施例について説明する。

【0043】

図1は実施の形態に係る異種光ファイバからなる光ファイバカプラの模式図で

ある。図1では、 $0.98\ \mu\text{m}$ 帯用光ファイバと $1.55\ \mu\text{m}$ 帯用光ファイバ（SMF28相当）とからなる $0.98/1.55\ \mu\text{m}$ 光ファイバカプラの模式図を示している。図1に示した入射光・出射光の向きは前方励起のものである。なお、後方励起の場合、 $1.55\ \mu\text{m}$ の信号光の進み方は逆となる。

【0044】

ここで、融着条件によっても異なるが、極端な強融着で無い限り、 $0.98\ \mu\text{m}$ 帯の光はクロスポートに結合しないとあって差し支えないため（アスペクト比 $1.1\sim 1.2$ となるような条件で、 $0.98\ \mu\text{m}$ 帯の光の結合定数は、 $1.55\ \mu\text{m}$ 帯の結合度と比較して $2\sim 3$ 桁小さい。）、ここでは $0.98\ \mu\text{m}$ 帯の結合については言及しない。ここでは、 $1.55\ \mu\text{m}$ 帯の結合度の最適化を図ることにする。

【0045】

なお、ここで言う融着条件とは、光ファイバカプラの融着延伸部の延伸率、延伸長（融着延伸部の長さ）、延伸部のテーパ形状、アスペクト比（図22に示す融着延伸部15の断面における長軸の長さ b と短軸の長さ a との比率 b/a ）といった諸条件を指す。

【0046】

2本の光ファイバを接した状態で、ガラスの軟化点温度付近まで加熱すると、クラッド表面の互いに接している部分から、2本のファイバは接合される（図23に示す融着延伸部15a）。さらに、加熱を続けると、クラッド表面の表面張力等の作用で、2本の光ファイバの間の溝は浅くなって行き、コアとコアの距離が近くなって行く（図23に示す融着延伸部15b, 15c）。最終的には2本の光ファイバの間の溝は完全に無くなり、断面がほぼ真円の形状となる（図23に示す融着延伸部15d）。この作用を大きく働かせた場合を強融着と呼び、逆にこの作用が小さい場合を弱融着と呼ぶ。従って、図23に示すように、弱融着の場合はアスペクト比は大きく（最大で $b/a=2$ ）、強融着の場合はアスペクト比は小さくなる（最小で $b/a=1$ ）。また、図23に示すように、弱融着の場合は同じ延伸率で比較した場合における結合度の波長依存性は大きく、強融着の場合は結合度の波長依存性は小さくなる。また、図23に示すように、弱融着

の場合は同じ延伸率で比較した場合における結合度（絶対値）は小さく、強融着の場合は結合度は大きくなる。

【0 0 4 7】

実際に光ファイバカプラを作製する際は、加熱温度や印加張力、引っ張り速度等の製造条件を調整して、最適な形状を得ている。

【0 0 4 8】

図1に示す光ファイバカプラは、 $1.55\mu\text{m}$ 帯用光ファイバ11と $0.98\mu\text{m}$ 帯用光ファイバ12とを融着延伸してなる融着延伸部15を有する。 $1.55\mu\text{m}$ 帯用光ファイバ11の一方のポートには上流側の信号線路である $1.55\mu\text{m}$ 帯用光ファイバ21から接続部Aを介して信号光が入射され、 $0.98\mu\text{m}$ 帯用光ファイバ12の一方のポートにはポンプ光光源である $0.98\mu\text{m}$ 帯用光ファイバ23から接続部Bを介してポンプ光が入射される。 $0.98\mu\text{m}$ 帯用光ファイバ12の他方のポートからは、合波された $0.98\mu\text{m}$ 帯のポンプ光と $1.55\mu\text{m}$ 帯の信号光とが接続部Cを介してEDFに入射される。なお、 $1.55\mu\text{m}$ 帯用光ファイバ11の他方のポート11pは使用されていない。

【0 0 4 9】

$1.55\mu\text{m}$ 帯用光ファイバ11は、図2に示すように、ステップインデックスタイプの屈折率プロファイルを持つ光ファイバで、図2(b)に示すように第1コア31と第1コア31の周囲に配置されたクラッド33とを有する。 $0.98\mu\text{m}$ 帯用光ファイバ12は、図3(b)に示すように、第1コア31と第1コア31の周囲に配置された第2コア32と第2コア32の周囲に配置されたクラッド33とを有する。

【0 0 5 0】

図2(a)及び図3(a)において、 n_{clad} はクラッド33の屈折率を表し、 $n(1)$ は第1コア31の屈折率を表し、 $n(2)$ は第2コア32の屈折率を表す。 r_{clad} はクラッド33の半径を表し、 $r(1)$ は第1コア31の半径を表し、 $r(2)$ は第2コア32の半径を表す。 $\Delta(1)$ は第1コア31とクラッド33との屈折率の差である比屈折率差を表す。 $\Delta(2)$ は第2コア32とクラッド33との屈折率の差である比屈折率差を表す。比屈折率差 Δ は式(4)

で表される。比屈折率差は一般に1に比べてきわめて小さい値であるので、通常100倍して%で表す。

【0051】

【数4】

$$\Delta_{(x)} = \frac{n^2_{(x)} - n^2_{clad}}{2n^2_{(x)}} \quad (4)$$

$$\approx \frac{n_{(x)} - n_{clad}}{n_{(x)}}$$

なお、式(4)において、xは1又は2であり、第xコアを表す。

【0052】

0.98 μ m帯用光ファイバ12は、第2コア32を設けることによってプロファイルを改良(変更)して、0.98 μ m帯用光ファイバ12と1.55 μ m帯用光ファイバ11との伝搬定数差の低減を図っている。

【0053】

(A-1) 光ファイバのプロファイルの変更による伝搬定数差の低減

以下、0.98 μ m帯用光ファイバ12のプロファイルの変更により伝搬定数差が低減できる理由について説明する。

【0054】

まず、本発明者等は、各種光ファイバを1本のまま延伸した際の導波モードの伝搬定数 β の計算を行なったので、その計算結果を図7から図11に示す。また、図4に伝搬定数 β の計算に用いた各種光ファイバの諸元を表したテーブルを示す。

【0055】

図7は1.55 μ m帯用の単一モード光ファイバ(SMF、SMF28相当品)及びその類似の光ファイバを延伸した際の導波モードの伝搬定数 β の計算結果を示す図である。この例では、第1コア半径 $r_{(1)}$ が4.4 μ mであり、第1コア31の比屈折率差 $\Delta_{(1)}$ が0.3~0.55%である。図8は0.98 μ m帯用のCS980相当品及びその類似の光ファイバを延伸した際の導波モードの伝搬定数 β

の計算結果を示す図である。この例では、第1コア半径 $r(1)$ が $2.4 \mu\text{m}$ であり、第1コア31の比屈折率差 $\Delta(1)$ が $0.6 \sim 1.00\%$ である。

【0056】

図9は改良型 $0.98 \mu\text{m}$ 帯用光ファイバ(例1)を延伸した際の導波モードの伝搬定数 β の計算結果を示す図である。この例では、第1コア半径 $r(1)$ が $2.4 \mu\text{m}$ であり、第1コア31の比屈折率差 $\Delta(1)$ が $0.6 \sim 1.00\%$ であり、第2コア半径 $r(2)$ が $20 \mu\text{m}$ であり、第2コア32の比屈折率差 $\Delta(2)$ が 0.1% である。

【0057】

図10は改良型 $0.98 \mu\text{m}$ 帯用光ファイバ(例2)を延伸した際の導波モードの伝搬定数 β の計算結果を示す図である。この例では、第1コア半径 $r(1)$ が $2.4 \mu\text{m}$ であり、第1コア31の比屈折率差 $\Delta(1)$ が $0.6 \sim 1.00\%$ であり、第2コア半径 $r(2)$ が $20 \mu\text{m}$ であり、第2コア32の比屈折率差 $\Delta(2)$ が 0.02% である。

【0058】

図11は改良型 $0.98 \mu\text{m}$ 帯用光ファイバ(例3)を延伸した際の導波モードの伝搬定数 β の計算結果を示す図である。この例では、第1コア半径 $r(1)$ が $2.4 \mu\text{m}$ であり、第1コア31の比屈折率差 $\Delta(1)$ が $0.6 \sim 1.00\%$ であり、第2コア半径 $r(2)$ が $10 \mu\text{m}$ であり、第2コア32の比屈折率差 $\Delta(2)$ が 0.02% である。

【0059】

図7～図11に示す各光ファイバとも、数種類の比屈折率差 Δ について計算したが、これは延伸時の加熱による光ファイバのプロファイルの変化(ダレ、元素の熱拡散などによる)を考慮するためである。

【0060】

なお、ここでは、 $0.98 \mu\text{m}$ 用光ファイバと $1.55 \mu\text{m}$ 帯用光ファイバが延伸率 50% 付近 $\sim 10\%$ で絶対値が異なる ($0.98 \mu\text{m}$ 用光ファイバの方が若干小さい) が、よく似た傾きを持つ。このため、前述した (a) (b) の内容を踏まえて考えると、このカーブを上下方向(伝搬定数 β の絶対値の方向)にシ

フトさせることで、 $0.98\mu\text{m}$ 用光ファイバと $1.55\mu\text{m}$ 帯用光ファイバとの伝搬定数差 $\Delta\beta$ を低減できるので、前記カーブを上下方向にシフトさせるために、光ファイバのプロファイルの変更を検討した。

【0061】

伝搬定数 β を大きくするためには、光ファイバ全体（特にクラッド）の屈折率を大きくすれば良い。しかし、光ファイバの機械的信頼性、耐環境特性等を考慮すると、光ファイバの最外層は純粋石英であることが好ましい。屈折率を調整するために他の元素を添加すると、一般的に機械的強度や耐環境特性は劣化する。このため、ここでは、 $0.98\mu\text{m}$ 帯用光ファイバの第1コア31の周囲にクラッド33よりも屈折率の高い領域として第2コア32を設けるようにした。

【0062】

(A-2) 伝搬定数差 $\Delta\beta$ の低減の実施例1

次に、図7に示す $1.55\mu\text{m}$ 帯用の単一モード光ファイバ（ $\Delta=0.35\%$ ）と図8乃至図11に示す各々の $0.98\mu\text{m}$ 帯用光ファイバとの伝搬定数差 $\Delta\beta$ の延伸率依存性を求めたので、これらを図12乃至図15に示す。

【0063】

図12は図7に示す $1.55\mu\text{m}$ 帯用の単一モード光ファイバ（ $\Delta=0.35\%$ ）と図8に示す $0.98\mu\text{m}$ 帯用光ファイバとの伝搬定数差 $\Delta\beta$ の延伸率依存性を示す図である。図13は図7に示す $1.55\mu\text{m}$ 帯用の単一モード光ファイバ（ $\Delta=0.35\%$ ）と図9に示す改良型 $0.98\mu\text{m}$ 帯用光ファイバ（例1）との伝搬定数差 $\Delta\beta$ の延伸率依存性を示す図である。

【0064】

図14は図7に示す $1.55\mu\text{m}$ 帯用の単一モード光ファイバ（ $\Delta=0.35\%$ ）と図10に示す改良型 $0.98\mu\text{m}$ 帯用光ファイバ（例2）との伝搬定数差 $\Delta\beta$ の延伸率依存性を示す図である。図15は図7に示す $1.55\mu\text{m}$ 帯用の単一モード光ファイバ（ $\Delta=0.35\%$ ）と図11に示す改良型 $0.98\mu\text{m}$ 帯用光ファイバ（例3）との伝搬定数差 $\Delta\beta$ の延伸率依存性を示す図である。

【0065】

図12に示すように、改良型 $0.98\mu\text{m}$ 帯用光ファイバ（例2）（第1コア

31の比屈折率差 $\Delta(1)$ が0.8%であり、第2コア半径 $r(2)$ が $20\mu\text{m}$ であり、第2コア32の比屈折率差 $\Delta(2)=0.02\%$ である。)において、延伸率50%以下の範囲で伝搬定数差 $\Delta\beta$ が 10^{-4} 以下となることがわかる。このような状況で、 $1.55\mu\text{m}$ クロスポートの挿入損失を小さくできる。

【0066】

また、延伸率50%以下の範囲で、伝搬定数差 $\Delta\beta$ が 10^{-4} であるようにするためには、第2コア半径 $r(2)$ は、少なくとも $10\mu\text{m}$ より大きくなければならず、第2コア32の比屈折率差 $\Delta(2)$ は少なくとも0.1%より小さくなくてはならないことがわかる。さらに、融着延伸する際に、 $0.98\mu\text{m}$ 帯用光ファイバ12と組み合わせて用いる $1.55\mu\text{m}$ 帯用光ファイバ11の第1コア31の比屈折率差 $\Delta(1)$ が0.35%の場合、 $0.98\mu\text{m}$ 帯用光ファイバ12の第1コア31の比屈折率差 $\Delta(1)$ は0.70%~0.90%の範囲内になければならないこともわかる。

【0067】

(A-3) 伝搬定数差 $\Delta\beta$ の低減の実施例2

また、図7に示す $1.55\mu\text{m}$ 帯用の単一モード光ファイバ($\Delta=0.30\%$)と図8乃至図11に示す各々の $0.98\mu\text{m}$ 帯用光ファイバとの伝搬定数差 $\Delta\beta$ の延伸率依存性を求めたので、これらを図16乃至図19に示す。

【0068】

図16は図7に示す $1.55\mu\text{m}$ 帯用の単一モード光ファイバ($\Delta=0.30\%$)と図8に示す $0.98\mu\text{m}$ 帯用光ファイバとの伝搬定数差 $\Delta\beta$ の延伸率依存性を示す図である。図17は図7に示す $1.55\mu\text{m}$ 帯用の単一モード光ファイバ($\Delta=0.30\%$)と図9に示す改良型 $0.98\mu\text{m}$ 帯用光ファイバ(例1)との伝搬定数差 $\Delta\beta$ の延伸率依存性を示す図である。

【0069】

図18は図7に示す $1.55\mu\text{m}$ 帯用の単一モード光ファイバ($\Delta=0.30\%$)と図10に示す改良型 $0.98\mu\text{m}$ 帯用光ファイバ(例2)との伝搬定数差 $\Delta\beta$ の延伸率依存性を示す図である。図19は図7に示す $1.55\mu\text{m}$ 帯用の単一モード光ファイバ($\Delta=0.30\%$)と図11に示す改良型 $0.98\mu\text{m}$ 帯用

光ファイバ（例3）との伝搬定数差 $\Delta\beta$ の延伸率依存性を示す図である。

【0070】

図19に示すように、改良型 $0.98\mu\text{m}$ 帯用光ファイバ（例2）（第1コア31の比屈折率差 $\Delta(1)$ が0.7%）の場合に、延伸率50%以下の範囲で伝搬定数差 $\Delta\beta$ が $10^{-4}[\text{rad}/\mu\text{m}]$ 以下となることがわかる。この場合も、延伸率50%以下の範囲で、伝搬定数差 $\Delta\beta$ が $10^{-4}[\text{rad}/\mu\text{m}]$ 以下であるようにするためには、第2コア半径 $r(2)$ は少なくとも $10\mu\text{m}$ より大きくなければならず、第2コア32の比屈折率差 $\Delta(2)$ は少なくとも0.1%より小さくなくてはならないことがわかる。さらに、融着延伸する際に、 $0.98\mu\text{m}$ 帯用光ファイバ12と組み合わせて用いる $1.55\mu\text{m}$ 帯用光ファイバ11の第1コア31の比屈折率差 $\Delta(1)$ が0.30%の場合、 $0.98\mu\text{m}$ 帯用光ファイバ12の第1コア31の比屈折率差 $\Delta(1)$ は0.60%~0.80%の範囲内になければならないこともわかる。

【0071】

以上のように、 $1.55\mu\text{m}$ 帯用単一モード光ファイバと改良型 $0.98\mu\text{m}$ 帯用光ファイバで構成された、低損失な $0.98/1.55\mu\text{m}$ 光ファイバカプラを実現することができる。

【0072】

なお、以上は、融着延伸後の光ファイバのプロファイルでの計算結果であり、実際に光ファイバを設計する際には、延伸時の加熱によるプロファイルの変化（ダレ）を考慮する必要がある。また、結合させる（組み合わせる）SMFのプロファイルにより、改良CSFの最適プロファイルも変わるので、これらを考慮して設計する必要がある。

【0073】

【発明の効果】

本発明によれば、優れた光学特性（ $1.55\mu\text{m}$ 帯の結合特性）を実現しつつ、入出力光ファイバとの接続性に優れた（結合損失の小さい）、挿入損失が小さな融着延伸型の光ファイバカプラ及び光ファイバカプラ用光ファイバを提供することができる。

【図面の簡単な説明】**【図 1】**

実施の形態に係る異種光ファイバからなる光ファイバカプラの模式図である。

【図 2】

ステップインデックス型の光ファイバの屈折率プロファイルを示す図である。

【図 3】

第 2 コアを有する光ファイバの屈折率プロファイルを示す図である。

【図 4】

各種光ファイバの諸元を表したテーブルを示す図である。

【図 5】

1. $55 \mu\text{m}$ 帯用光ファイバと $0.98 \mu\text{m}$ 帯用光ファイバを融着無しで 1 本の光ファイバのまま延伸した場合における $1.55 \mu\text{m}$ の導波モードの伝搬定数 β の変遷を、x 偏波・y 偏波それぞれについて計算した結果を示す図である。

【図 6】

図 5 に示す 2 つの導波路の伝搬定数 β の差を、x 偏波・y 偏波のそれぞれについて表わす図である。

【図 7】

1. $55 \mu\text{m}$ 帯用の単一モード光ファイバ (SMF、SMF28 相当品) 及びその類似の光ファイバを延伸した際の導波モードの伝搬定数 β の計算結果を示す図である。

【図 8】

$0.98 \mu\text{m}$ 帯用の CS980 相当品及びその類似の光ファイバを延伸した際の導波モードの伝搬定数 β の計算結果を示す図である。

【図 9】

改良型 $0.98 \mu\text{m}$ 帯用光ファイバ (例 1) を延伸した際の導波モードの伝搬定数 β の計算結果を示す図である。

【図 10】

改良型 $0.98 \mu\text{m}$ 帯用光ファイバ (例 2) を延伸した際の導波モードの伝搬定数 β の計算結果を示す図である。

【図 11】

改良型 0.98 μm 帯用光ファイバ（例 3）を延伸した際の導波モードの伝搬定数 β の計算結果を示す図である。

【図 12】

図 7 に示す 1.55 μm 帯用の単一モード光ファイバ（ $\Delta = 0.35\%$ ）と図 8 に示す 0.98 μm 帯用光ファイバとの伝搬定数差 $\Delta\beta$ の延伸率依存性を示す図である。

【図 13】

図 7 に示す 1.55 μm 帯用の単一モード光ファイバ（ $\Delta = 0.35\%$ ）と図 9 に示す改良型 0.98 μm 帯用光ファイバ（例 1）との伝搬定数差 $\Delta\beta$ の延伸率依存性を示す図である。

【図 14】

図 7 に示す 1.55 μm 帯用の単一モード光ファイバ（ $\Delta = 0.35\%$ ）と図 10 に示す改良型 0.98 μm 帯用光ファイバ（例 2）との伝搬定数差 $\Delta\beta$ の延伸率依存性を示す図である。

【図 15】

図 7 に示す 1.55 μm 帯用の単一モード光ファイバ（ $\Delta = 0.35\%$ ）と図 11 に示す改良型 0.98 μm 帯用光ファイバ（例 3）との伝搬定数差 $\Delta\beta$ の延伸率依存性を示す図である。

【図 16】

図 7 に示す 1.55 μm 帯用の単一モード光ファイバ（ $\Delta = 0.30\%$ ）と図 8 に示す 0.98 μm 帯用光ファイバとの伝搬定数差 $\Delta\beta$ の延伸率依存性を示す図である。

【図 17】

図 7 に示す 1.55 μm 帯用の単一モード光ファイバ（ $\Delta = 0.30\%$ ）と図 9 に示す改良型 0.98 μm 帯用光ファイバ（例 1）との伝搬定数差 $\Delta\beta$ の延伸率依存性を示す図である。

【図 18】

図 7 に示す 1.55 μm 帯用の単一モード光ファイバ（ $\Delta = 0.30\%$ ）と図

10に示す改良型0.98 μ m帯用光ファイバ（例2）との伝搬定数差 $\Delta\beta$ の延伸率依存性を示す図である。

【図19】

図7に示す1.55 μ m帯用の単一モード光ファイバ（ $\Delta=0.30\%$ ）と図11に示す改良型0.98 μ m帯用光ファイバ（例3）との伝搬定数差 $\Delta\beta$ の延伸率依存性を示す図である。

【図20】

従来の光ファイバカプラの第1構成例を示す図である。

【図21】

従来の光ファイバカプラの第2構成例を示す図である。

【図22】

融着延伸部の断面における長軸の長さとの比率を表すアスペクト比を示す図である。

【図23】

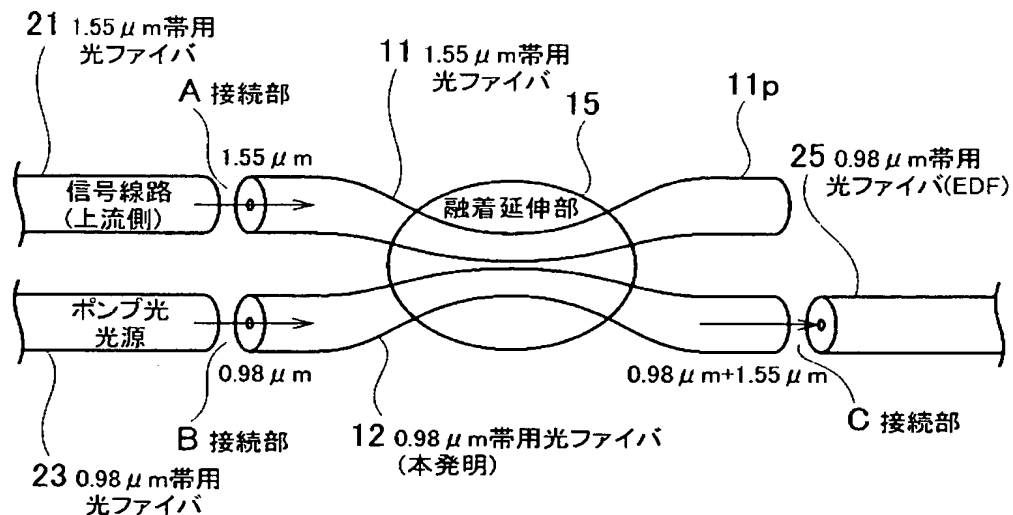
アスペクト比の大きさと強融着及び弱融着との関係を示す図である。

【符号の説明】

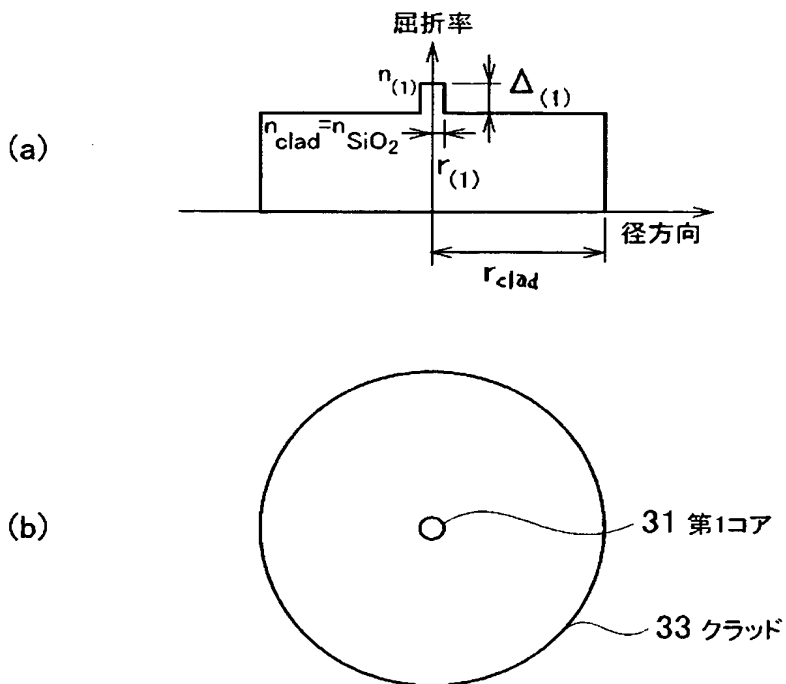
- 11 1.55 μ m帯用光ファイバ
- 12, 13 0.98 μ m帯用光ファイバ
- 15 融着延伸部
- 21 1.55 μ m帯用光ファイバ（信号線路）
- 23 0.98 μ m帯用光ファイバ（ポンプ光光源）
- 25 0.98 μ m帯用光ファイバ（EDF）
- 31 第1コア
- 32 第2コア
- 33 クラッド
- A, B, C 接続部
- β 伝搬定数
- Δ 比屈折率差

【書類名】 図面

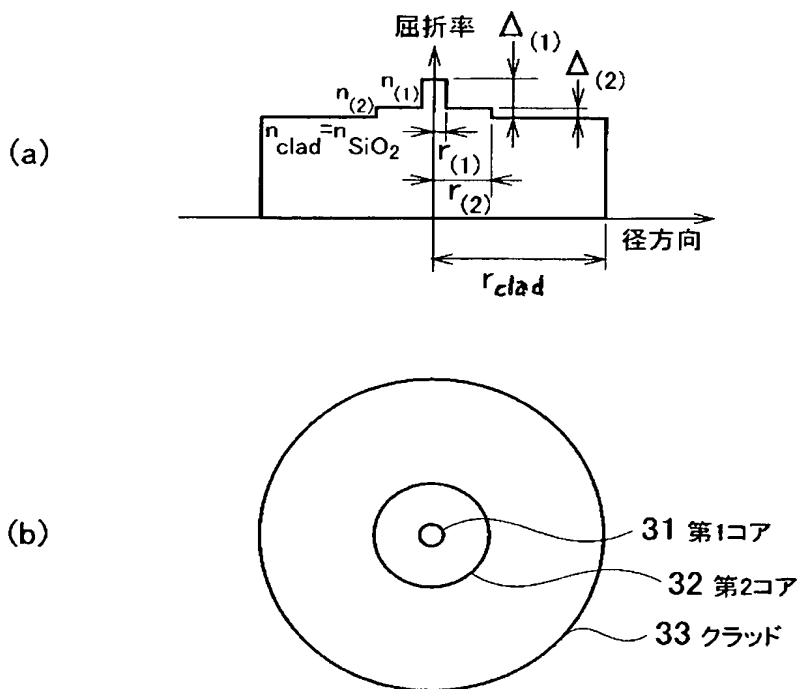
【図 1】



【図 2】



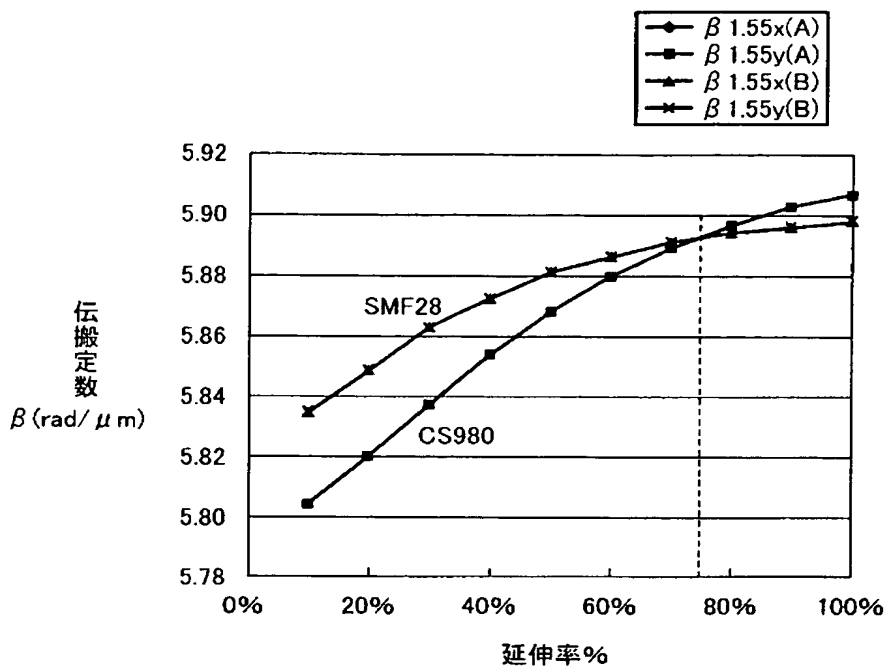
【図 3】



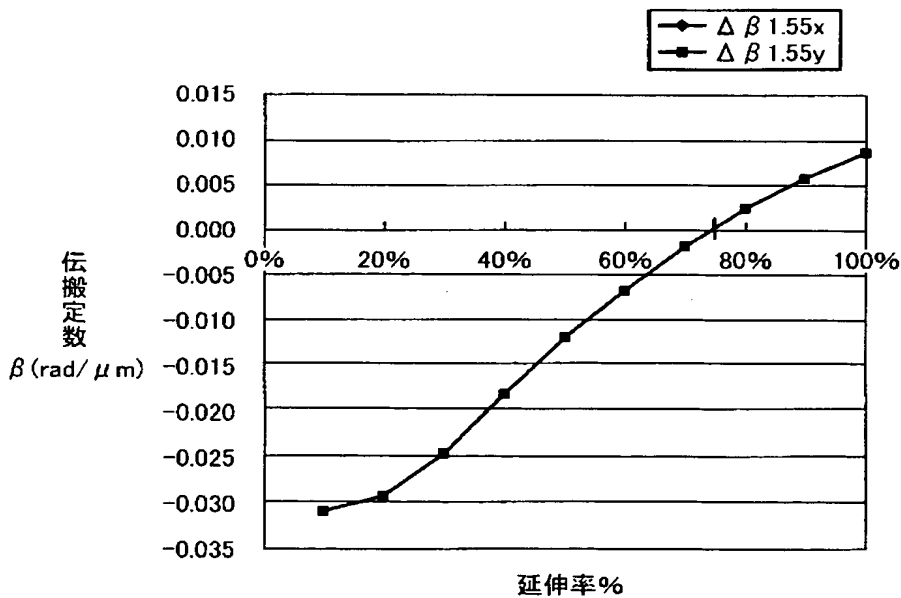
【図 4】

| | 第1コア半径 $r_{(1)}$ (μm) | 第1コア Δ $\Delta_{(1)}$ (%) | 第2コア半径 $r_{(2)}$ (μm) | 第2コア Δ $\Delta_{(2)}$ (%) |
|-------------------------------------|--|--|--|--|
| (a) 1.55 μm 帯用ファイバ | 4.4 | 0.30~0.55 | — | — |
| (b) 0.98 μm 帯用ファイバ | 2.4 | 0.60~1.00 | — | — |
| (c) 改良型0.98 μm 帯用ファイバ(1) | 2.4 | 0.60~1.00 | 20 | 0.10 |
| (d) 改良型0.98 μm 帯用ファイバ(2) | 2.4 | 0.60~1.00 | 20 | 0.02 |
| (e) 改良型0.98 μm 帯用ファイバ(3) | 2.4 | 0.60~1.00 | 10 | 0.02 |

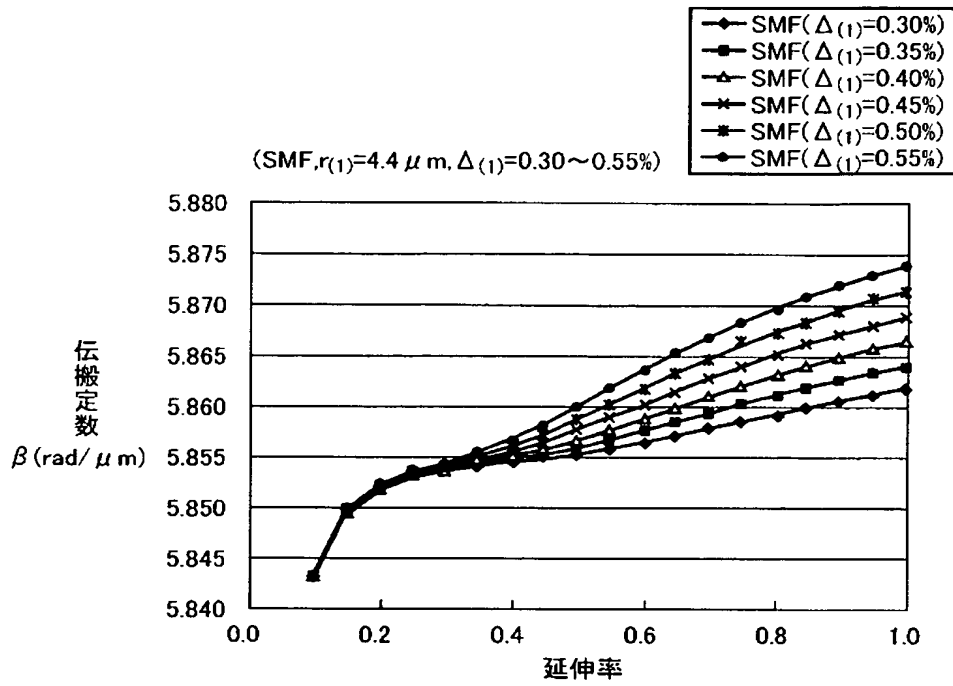
【図 5】



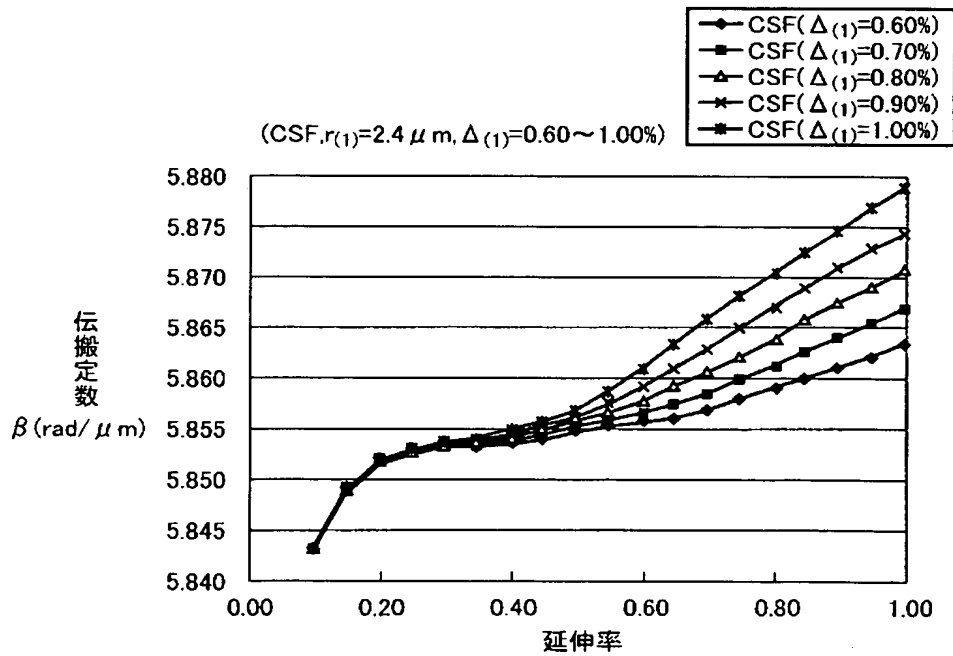
【図 6】



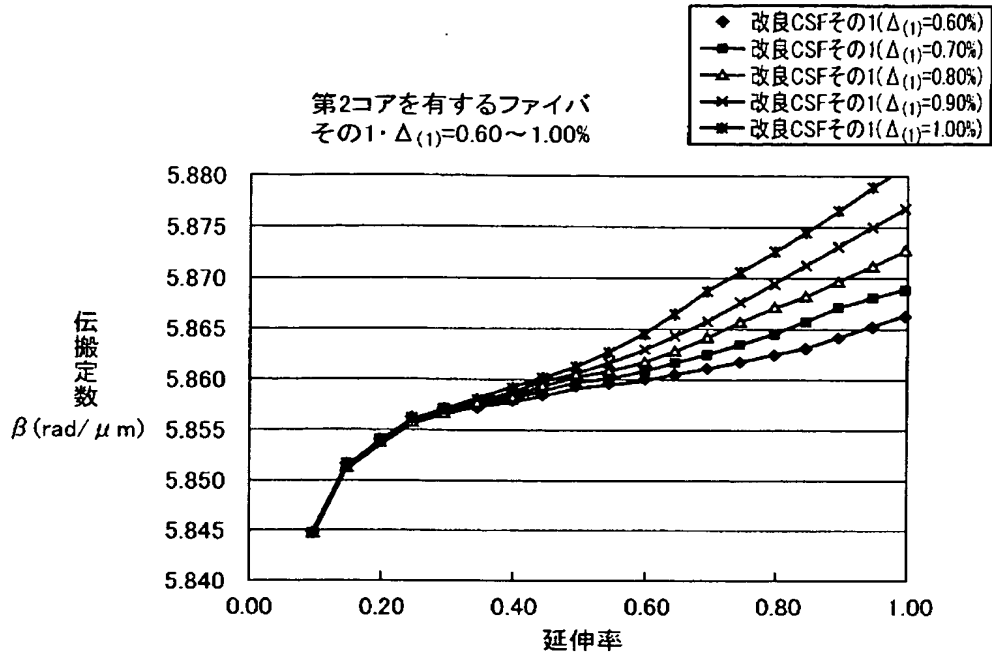
【図 7】



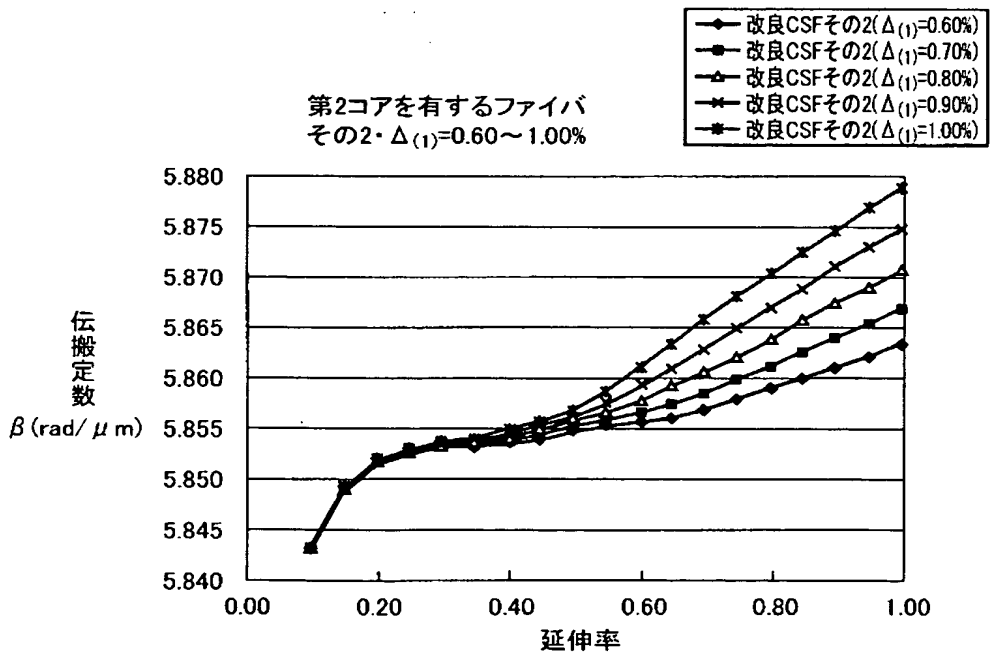
【図 8】



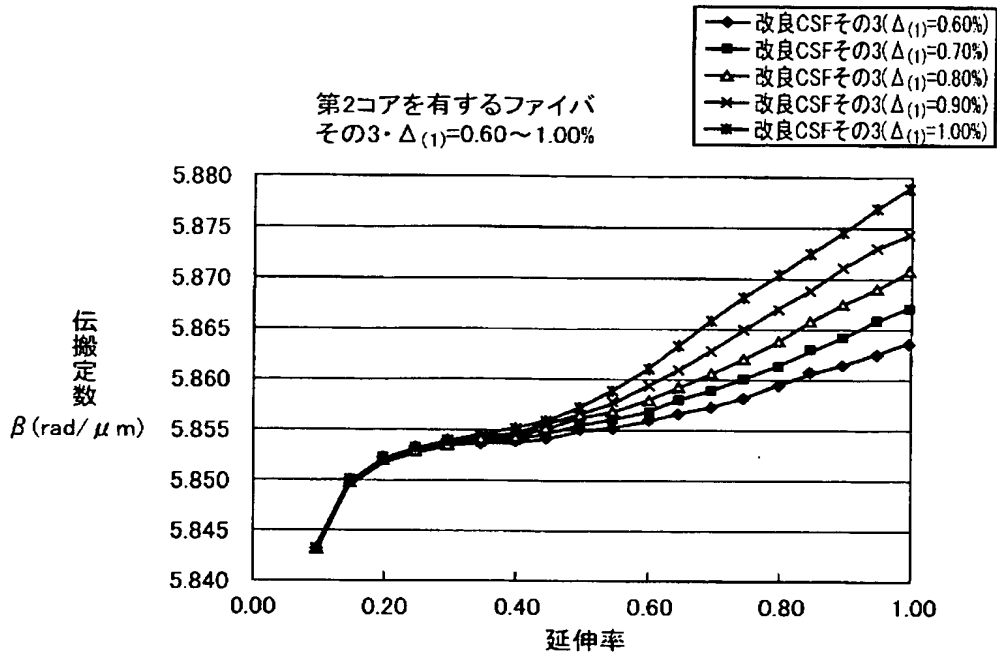
【図9】



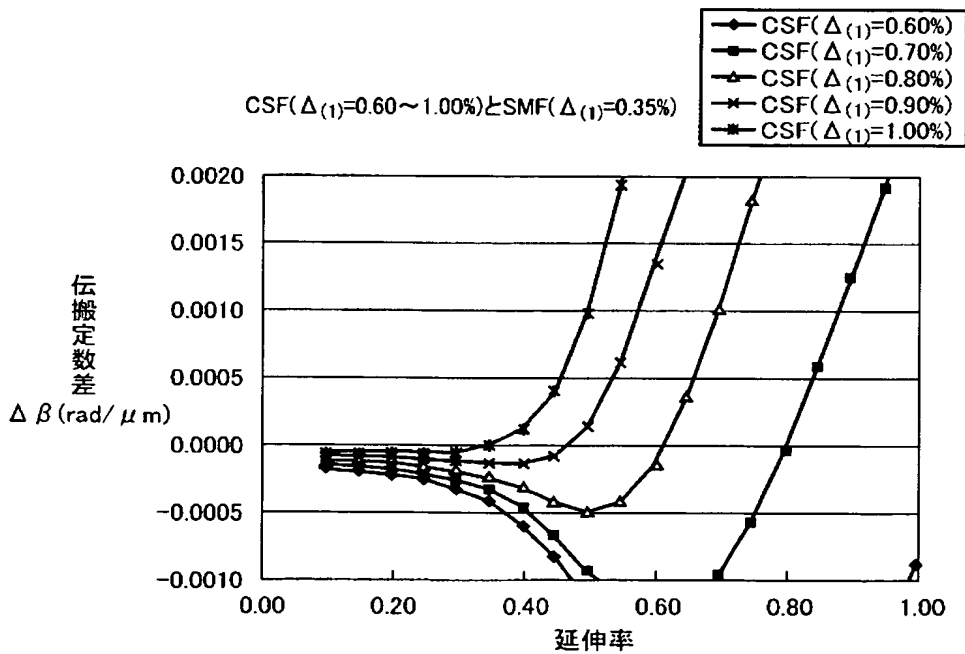
【図10】



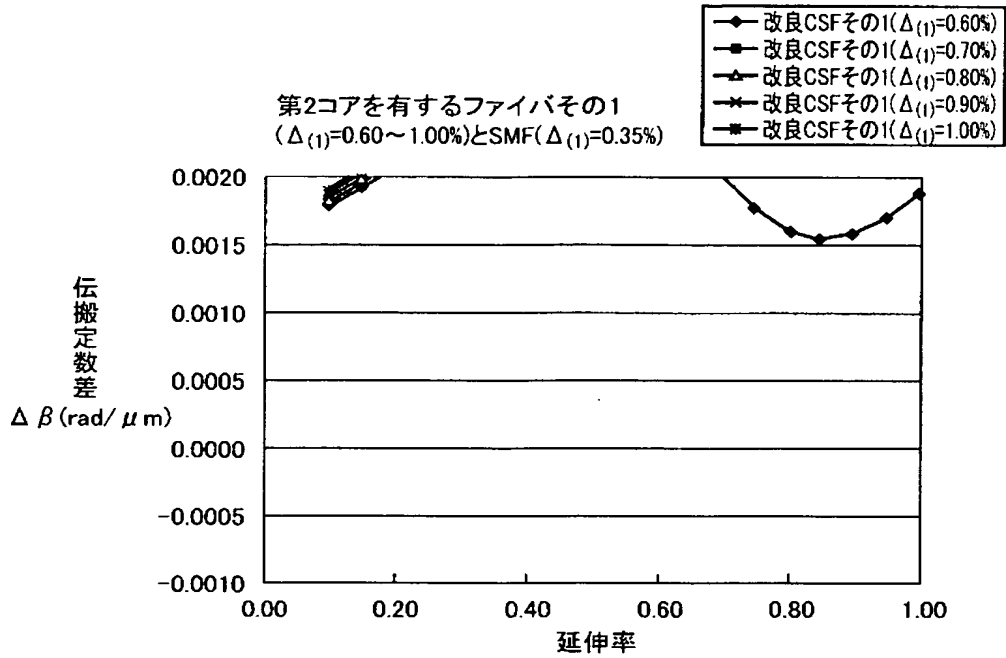
【図 1 1】



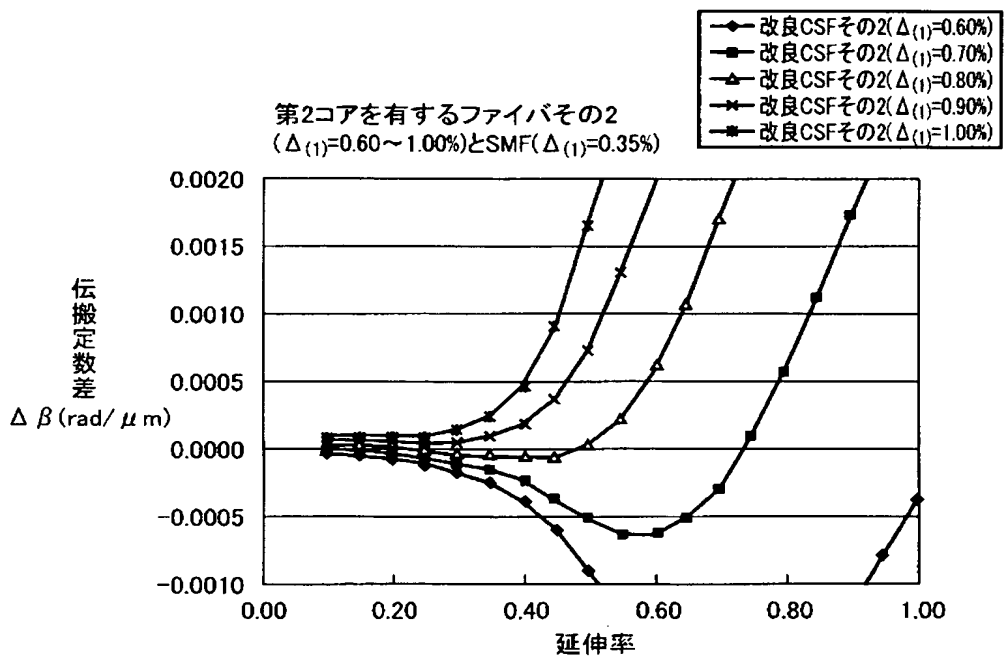
【図 1 2】



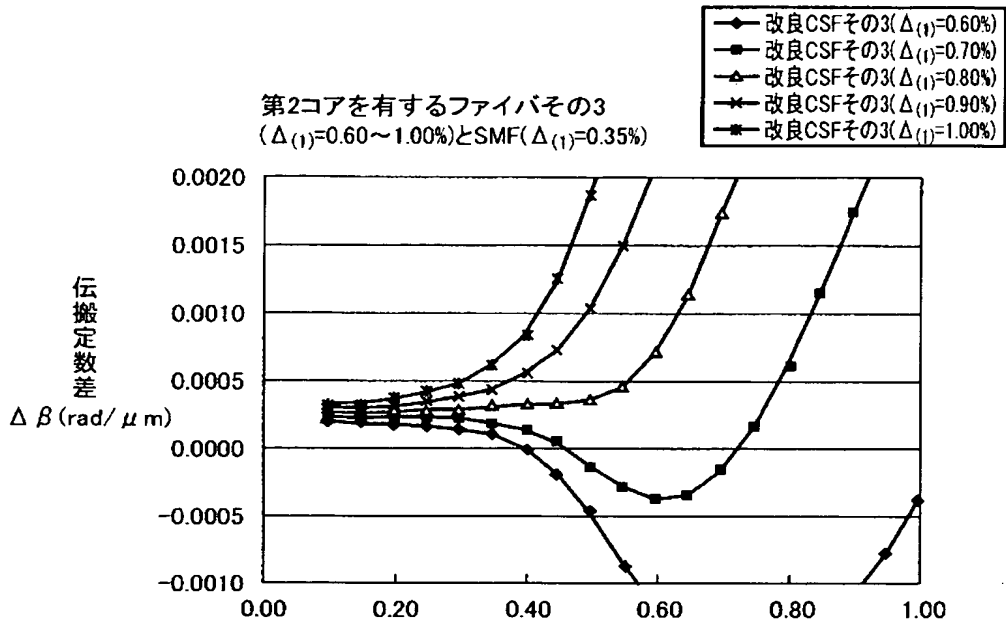
【図 13】



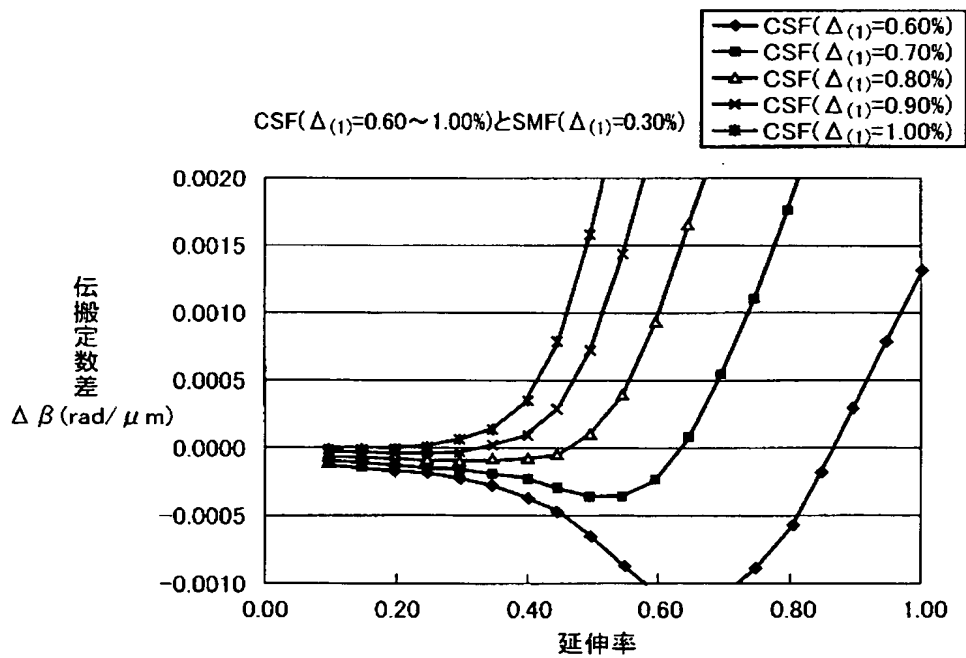
【図 14】



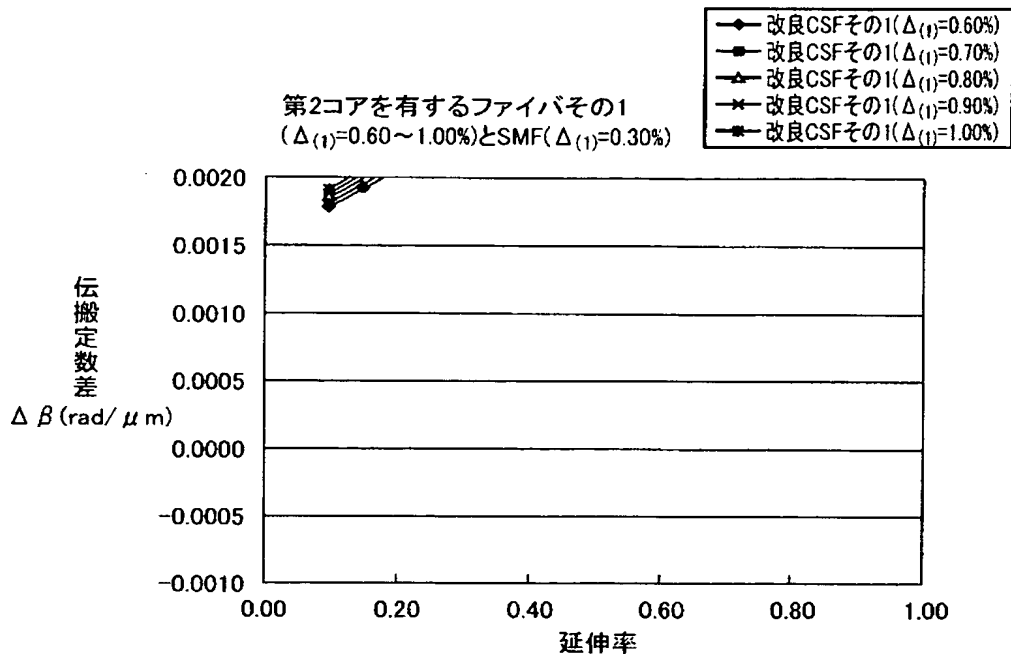
【図15】



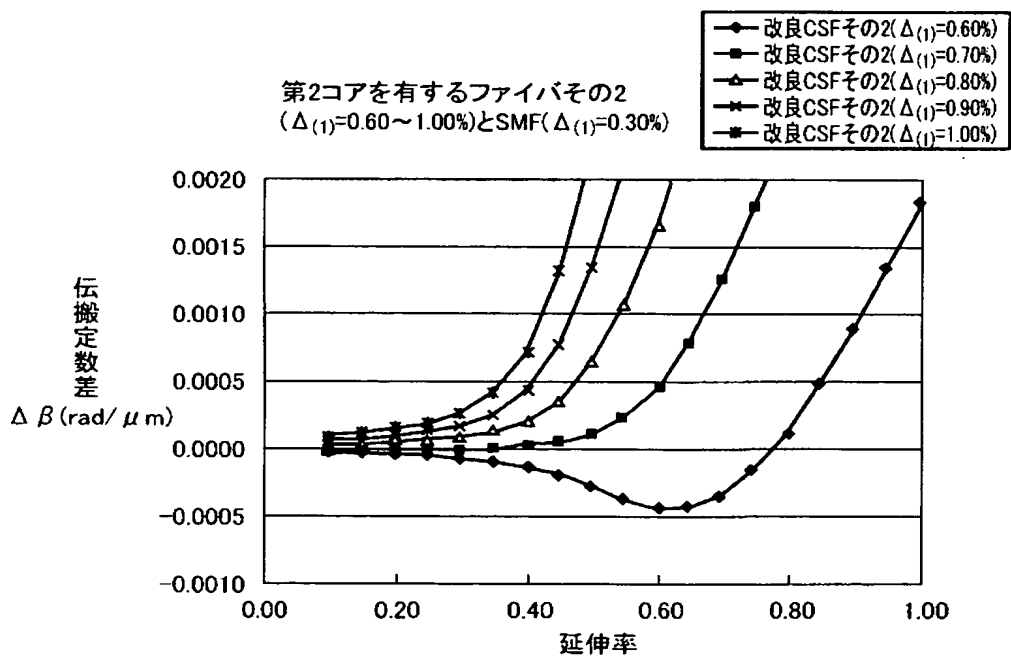
【図16】



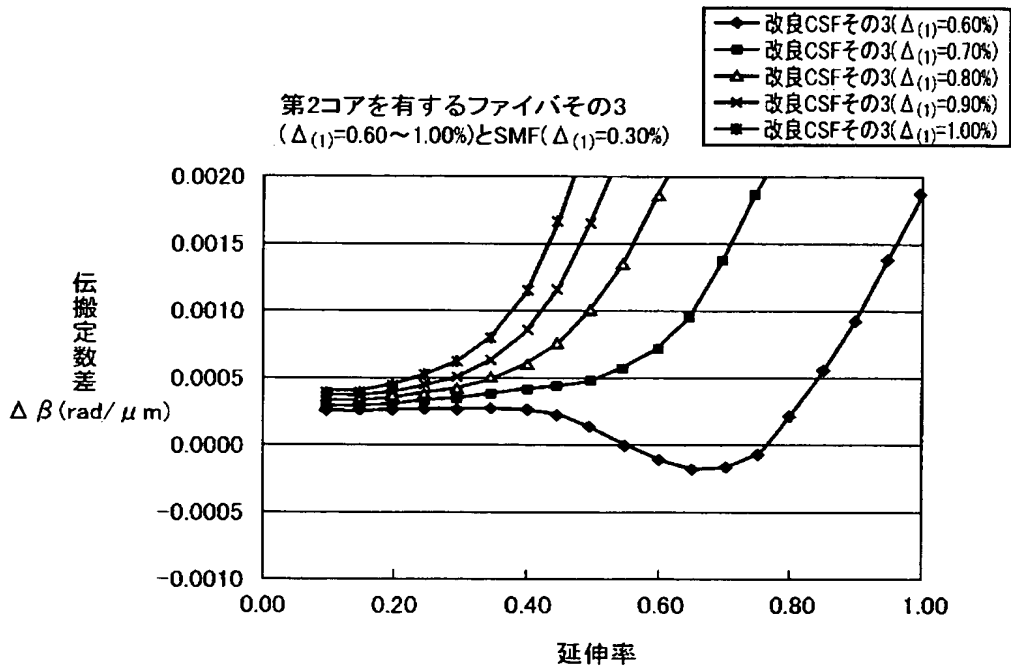
【図 17】



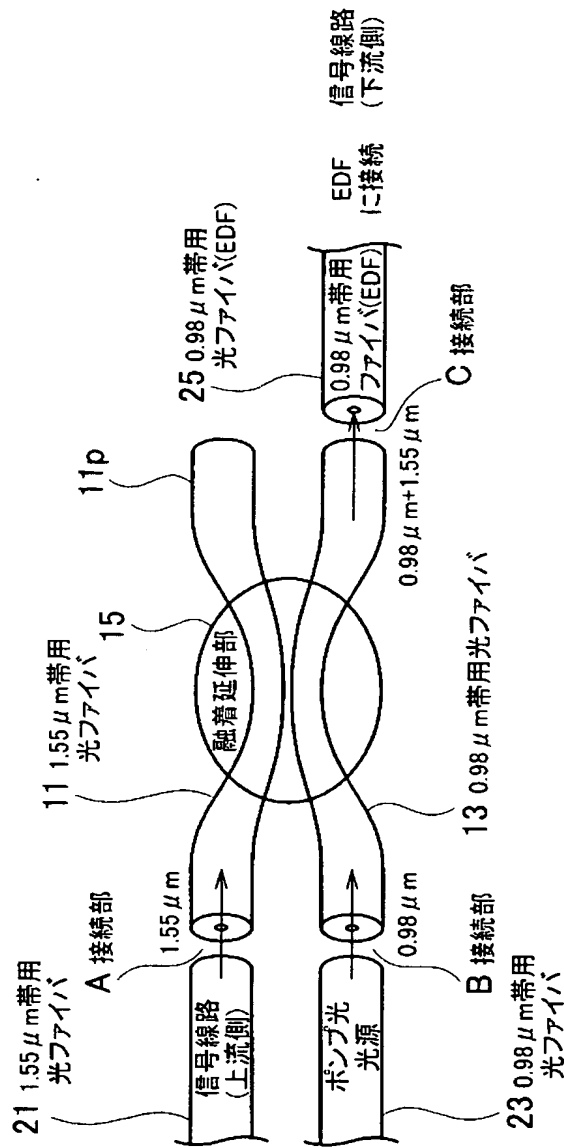
【図 18】



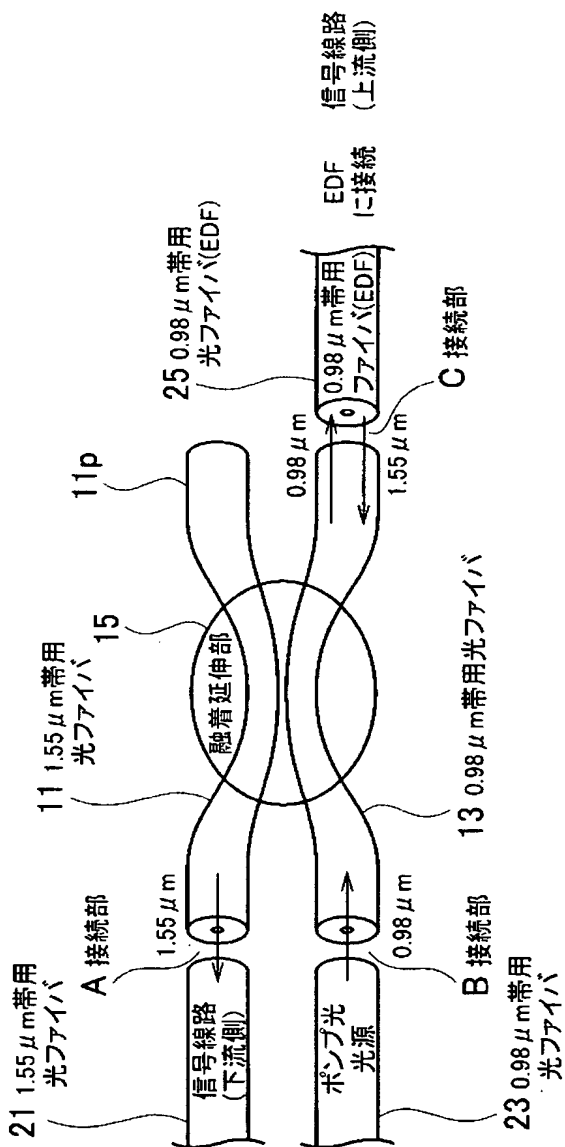
【図 19】



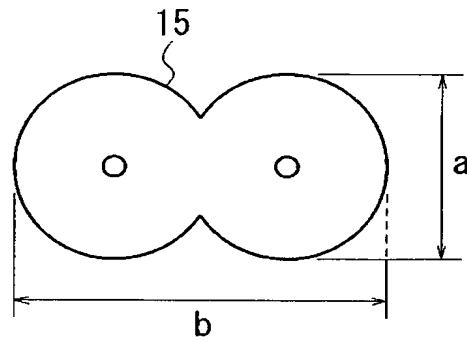
【図 20】



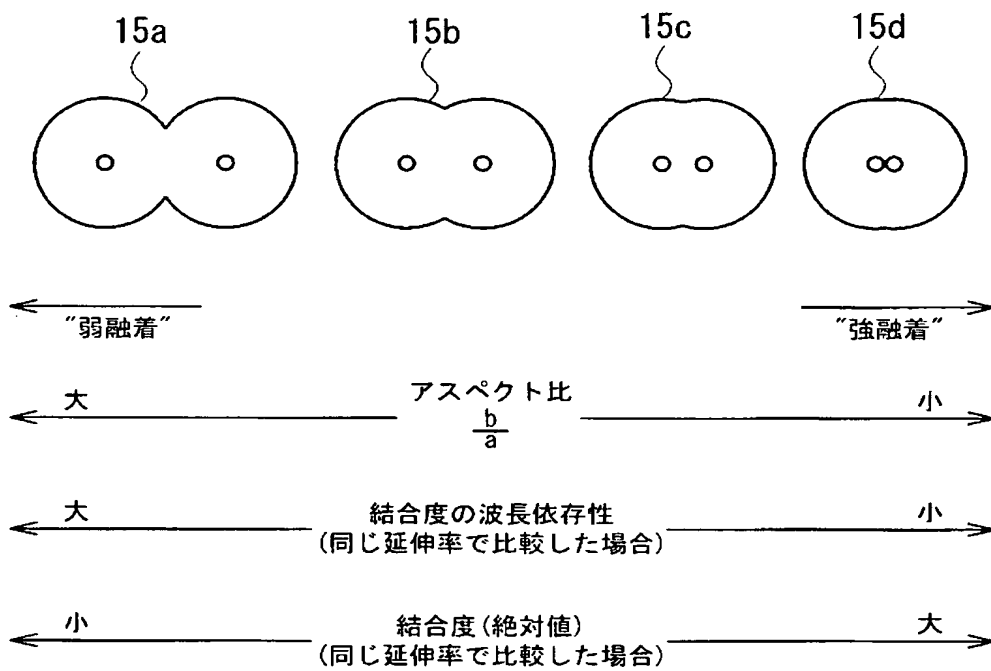
【図 21】



【図 2 2】



【図 2 3】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】優れた光学特性（1.55 μm 帯の結合特性）を実現しつつ、入出力光ファイバとの接続性に優れた（結合損失の小さい）、挿入損失が小さな融着延伸型の光ファイバカプラ及び光ファイバカプラ用光ファイバを提供する。

【解決手段】1.55 μm 帯用光ファイバ11と0.98 μm 帯用光ファイバ12とを融着延伸してなる融着延伸部15を有する光ファイバカプラであって、融着延伸部15により融着延伸された後のそれぞれの光ファイバ11, 12の伝搬定数の差は、 10^{-4} 以下であることを特徴とする。

【選択図】 図1

特願 2003-012664

出願人履歴情報

識別番号 [000005186]

1. 変更年月日 1990年 8月16日
[変更理由] 新規登録
住 所 東京都江東区木場1丁目5番1号
氏 名 藤倉電線株式会社

2. 変更年月日 1992年10月 2日
[変更理由] 名称変更
住 所 東京都江東区木場1丁目5番1号
氏 名 株式会社フジクラ